Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 685-702

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۷۰۲-۶۸۵

**مقاله علمی - پژوهشی**

# مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی

فرزین عبدالهی[1*]، لیلا جعفری[1] و سارا اسدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

عبدالهی، ف.، جعفری ل.، ، و اسـدی، س.، ۱۳۹۹. مقایســه نیاز آبی مزارع گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) اسـتان هرمزگان با سـایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۷۰۲-۶۸۵.

## چکیده

به‌منظور ارزیابی کشت گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با توجه به محدودیت آب تحت تأثیر تغییر اقلیم و خشکسالی، آنالیز سری زمانی مجموع بارش، میانگین حداکثر و حداقل دما ، دامنه دمای شبانه‌روزی در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی و همچنین نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی بندرعباس با سایر مناطق جنوبی هم‌جوار این استان از جمله اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، شهرکرد، کرمان، شیراز و یزد در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ با استفاده از آزمون ناپارامتری من ـــ کندال و آزمون پتیت انجام شد. نیاز آبی گوجه‌فرنگی با استفاده از تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع به‌روش پنمن- مانتیث و ضریب گیاهی فائو و نیاز آبیاری از کسر مقدار بارش مؤثر از نیاز آبی گوجه‌فرنگی به‌دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی در بندرعباس مشابه با اهواز، فسا، کرمان و یزد دارای روند معنی‌داری نبود. در حالی که بیشترین و کمترین روند کاهشی نیاز آبی گوجه‌فرنگی در دزفول (شیب ۵/۴۲- میلی‌متر) و اصفهان (شیب ۱/۵۶- میلی‌متر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین میانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی در یزد و دزفول (به‌ترتیب ۱۱۳۵ و ۱۱۳۱ میلی‌متر) و کمترین میانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی در شهرکرد و اهواز (به‌ترتیب ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی‌متر) مشاهده شد. بندرعباس با طول دوره رشد و فصل رشد مشابه اهواز، پس از این شهر پایین‌ترین نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی، می‌توان اظهار داشت که کشت پاییزه گوجه‌فرنگی در اهواز و بندرعباس به‌دلیل کاهش تبخیر و تعرق صرفه اقتصادی بیشتری نسبت کشت تابستانه این گیاه دارد. میزان نیاز آبیاری با نیاز آبی گوجه‌فرنگی در تمامی ایسـتگاه‌های مورد مطالعه به‌دلیل پایین بودن میانگین بارش مؤثر در این مناطق بر اساس آزمون تی-استیودنت اختلاف معنی‌داری نداشت.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون من -کندال، بارش مؤثر، روش پنمن- مانتیث

## مقدمه

بررسی داده‌های اقلیمی ثبت شده در دهه‌های گذشته و همچنین نتایج خروجی از تمامی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده اقلیم آینده، حاکی از بروز تغییرات غیر قابل اغماض در اقلیم جهانی است. مشخصاً بروز و تشدید پدیده‌های جوی مثل طوفان‌های سهمگین، خشک سالی‌های شدید، یخبندان‌های نابهنگام و غیره، نتیجه چنین تغییراتی است که ما را در مواجهه با تهدیدی جهانی به یقین رسـانده اسـت. بر هم‌خوردن تعادل سیستماتیک سامانه اقلیم باعث بروز آشفتگی‌ها و ناهنجاری

۱- اسـتادیار گروه باغبانی دانشـکده کشـاورزی و منابع طبیعی دانشـگاه هرمزگان، ایران.
۲- دکتری بوم‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: fabdollahi@hormozgan.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i4.77267

های رفتاری شـده اسـت که بیشـترین آثار آن بر محیط‌های طبیعی و به‌خصوص گیاهان که دارای قدرت و سرعت کم‌سازگاری هستند، می با شد (Mavi & Tupper, 2004). شرایط خاص اقلیمی کشور که خشـکی و پراکنش نامناسـب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیر آن است، تولید هرگونه مواد غذایی و محصولات کشاورزی را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب نموده است. در این شرایط اقلیمی آب آبیاری مهم‌ترین نهاده تولید کشاورزی است (Alizadeh & Kamali, 2007). در دهه‌های اخیر توجه بسـیاری از محققین علم هیدرولوژی به موضـوع گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به‌ویژه در مناطق خشک معطوف شده است زیرا گرم شدن هوا بیشتر در مناطقی چشمگیر است که با خشکسالی نیز مواجه می‌باشند. لذا از آن‌جا که ایران در منطقه‌ای واقع شده است که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشـک می‌باشـد، بنابراین مدیریت منابع آب در رأس مشـکلات توسعه قرار دارد (Alizadeh , 2015).

در سال‌های اخیر، دانشمندان و متخصصان علوم کشاورزی و اقلیم شناسی تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه اقلیم-کشاورزی انجام داده و با ارائه روش‌های مختلف سعی بر شناسایی و تبیین ارتباط عناصر و عوامل اقلیمی با کشت و مراحل رشد و نموی محصولات داشته‌اند. عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و اثرات متقابل آن‌هاسـت. اگرچه تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید محسـوب می‌شـوند، ولی میزان بارندگی و یا آب آبیاری، تشعشع و دما مهم‌ترین عوامل مؤثر در عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌روند (Entz & Fowler, 1990).

دما از طرفی، در چرخه هیدرولوژی و تولید محصـولات زراعی نقش داشته و از طرف دیگر، در ارزیابی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه، در بررسـی‌های هیدروکلیماتولوژی، توازن آب و نیاز آبی گیاهان حائز اهمیت اسـت. لذا می‌توان دما را یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عنصر اقلیمی هر منطقه که در تعیین سایر عناصر اقلیمی نیز عامل مؤثری به‌شـمار می‌رود در نظر گرفت (Alizadeh, 2015). به‌عبارتی، دمای هوا یکی از مهم‌ترین معیارهای تغییر اقلیم در جهان و ایران است. خشکسالی‌های اخیر ایران همراه با افزایش دمای هوا، موجب افزایش مصـرف آب در کشـاورزی گردید. با افزایش دمای هوا پیش‌بینی می‌شـود که قدرت تبخیرکنندگی هوا یا تبخیر و تعرق پتانسـیل، افزایش یابد (Alizadeh et al., 2010). با توجه به روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل در مناطق مختلف کشور در سال‌های اخیر و نقش مهم این دو عامل بر عملکرد و نیاز آبی گیاهان، پیش بینی و ارزیابی نوسانات آن‌ها در آینده و متعاقباً پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی گیاهان زراعی نقش به‌سـزایی در بهبود مدیریت منابع آب خواهد داشـت. مدل‌های اقلیمی که به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی به‌کار برده می شوند عموماً در دو گروه کلی مدل‌های آماری- احتمالی و مدل‌های فیزیکی قرار می‌گیرند. در میان انواع مدل‌های اقلیمی، مدل‌هایی که بر مبنای اصـول آمار و احتمال بنا نهاده شـده‌اند دارای اهمیت به‌سـزایی بوده و جنبه کاربردی‌تر دارند، بنابراین روش‌های آماری ابزاری کارآمد و مفید برای درک و ارزیابی رفتار اقلیم به‌شـمار می‌آیند (Asakereh, 2011).

یکی از روش‌هایی که باعث بهبود بهره‌برداری آب و در نهایت، افزایش راندمان مصـرف آب می‌شـود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب مصـرفی گیاهان می‌باشـد. تبخیر-تعرق یکی از مؤلفه‌های اصـلی بیلان آبی هر منطقه و در نتیجه، یکی از عوامل کلیدی برنامه‌ریزی درسـت و مناسـب آبیاری می‌باشـد (Li, 2003). روش‌های محاسبه تبخیرـتعرق پتانسیل در دو گروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیرند. در روش‌های تجربی اساس کار بر روی پارامتر دما قرار دارد و با اسـتفاده از دمای محیط، تبخیرـتعرق پتانسـیل محاسـبه می‌گردد. در روش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیر ـ تعرق پتانسیل از دو فرآیند توازن انرژی و آیرودینامیک استفاده می شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند که هر یک تابع متغیرهای اقلیمی خاصی می‌باشند. در نشریه شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو برای کمک به کاربران با توجه به داده‌های موجود چهار روش بلانیـکریدیل، تابش، پنمن و تشتک تبخیر برای محاسبه تبخیرـتعرق پتانسیل ارائه شده است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شـده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($ET_0$) تخمین زده می شـود و سـپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسـبه می‌شـود (Alizadeh, 2015). یکی ار پارامترهای مهم در محاسـبات نیاز آبی، ضریب رشد گیاهی ($K_C$) است که تغییرات آن به نوع گیاه، میزان رشد و فصـل رویش گیاه بسـتگی دارد. با توجه به معیارهای پیشـنهادی نشریه شماره ۵۶ فائو، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رویش برای کلیه گیاهان الگوی محاسـبه می‌شـود. نیاز آب گیاه از حاصل ضرب میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ضریب گیاهی (مراحل اولیه رشـد، توسـعه گیاه (اواسـط دوره رشـد) و مراحل انتهایی رشـد)

به‌دست می‌آید. ضریب رشد گیاهی منعکس‌کننده خصوصیات گیاهی در نیاز آبی آن می‌باشد. طبق تعریف ضریب رشد گیاهی عبارت است از نسبت تبخیر و تعرق محصول در شرایط تولید حداکثر پتانسیل به تبخیر و تعرق بالقوه. مقادیر ضریب گیاهی بر حسب نوع گیاه، مرحله رشد، زمان کاشت و شرایط عمومی آب‌وهوایی شامل رطوبت متغیر می‌باشد.

باتوجه به مباحث فوق تعیین دقیق و علمی شاخص کارایی مصرف آب در کشاورزی و استفاده از روش‌های علمی و فنی مناسب مبتنی بر مطالعه و تحقیق، جهت افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص شده است که در حال حاضر شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف در کشور عملاً مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبری در این زمینه در سطح مزارع و تحت شرایط مدیریت محلی کشاورزان کشور انجام نیافته و یا محدود بوده و کافی نمی‌باشند. از طرف دیگر، بیشتر منابع و داده‌های موجود متکی بر نتایج طرح‌های تحقیقاتی ایستگاهی و یا مرور منابع خارجی هستند. هدف از این مطالعه، محاسبه نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در استان هرمزگان و مقایسه آن با سایر مناطق جنوبی هم‌جوار این استان در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ می‌باشد. در این پژوهش نیاز آبی گوجه‌فرنگی در بندرعباس با سایر شهرهای جنوبی هم‌جوار این استان از جمله اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، کرمان، شیراز و یزد برای بازه‌های یاد شده مقایسه شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

به‌منظور مقایسه نیاز آبی گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی هم‌جوار این استان، برآورد نیاز آبی این گیاه در شهرستان‌های بندرعباس، اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، شهرکرد، کرمان، شیراز و یزد صورت گرفت (جدول ۱).

**جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌همراه میانگین دمای سالانه و مجموع بارش سالانه در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی برای هر منطقه (دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳٤٦ تا ۱۳۹۲)**

**Table 1- The characteristics of the stations studied, with the mean annual temperature and total annual precipitation during the growing season of tomatoes for each region (a 47-year long period from 1346 to 1392)**

| نام ایستگاه<br>Station name | عرض جغرافیایی<br>Latitude | طول جغرافیایی<br>Longitude | ارتفاع از سطح دریا<br>Height above mean sea level (m) | میانگین دمای سالانه<br>Mean annual temperature (°C) | مجموع بارندگی سالانه<br>Total annual precipitation (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| اهواز<br>Ahvaz | 31°19′13″N | 48°40′09″E | 17 | 25.6 | 278.6 |
| بندرعباس<br>Bandare Abbas | 27°11′00″N | 56°16′00″E | 9 | 26.9 | 232.9 |
| دزفول<br>Dezful | 32°22′57″N | 48°24′07″E | 150 | 24.2 | 474 |
| فسا<br>Fasa | 28°56′18″N | 53°38′54″E | 1389 | 19.4 | 360.9 |
| اصفهان<br>Isfahan | 32°38′00″N | 51°39′00″E | 1574 | 16.5 | 151.2 |
| کرمان<br>Kerman | 30°17′00″N | 57°05′00″E | 1755 | 15.9 | 169.7 |
| شهرکرد<br>Shahr-e-Kord | 32°19′32″N | 50°51′52″E | 2070 | 11.6 | 392.4 |
| شیراز<br>Shiraz | 29°37′00″N | 52°32′00″E | 1500 | 18.0 | 397.3 |
| یزد<br>Yazd | 31°53′50″N | 54°22′4″E | 1216 | 19.5 | 69.3 |

## روش پژوهش

روش‌های بسیاری برای برآورد نیاز آبی گیاه زراعی[1] (CWR) ارائه شده است. که رایج‌ترین روش برای تخمین CWR شامل ضریب گیاهی منفرد[2] (Kc) در مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع[3] (ETo) پوشش گیاهی که به‌طور کامل آبیاری‌شده (معادله ۱)، می‌باشد (Allen, 2003).

معادله ۱: $CWR = Kc \times ETo$

در این معادله تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع (ETo) در دوره رشد گیاه زراعی در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ با توجه به اطلاعات اقلیمی تهیه شده از جمله دمای حداکثر (سانتی‌گراد)، دمای حداقل (سانتی‌گراد)، دمای نقطه شبنم (سانتی گراد)، بارش (میلی‌متر)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (درصد) و تعداد ساعات آفتابی به‌صورت روزانه از ایستگاه مورد مطالعه (جدول ۱) و با استفاده روش پنمن-مانتیث (معادله ۲) محاسبه شد.

معادله (۲)
$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T_a+273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)}$$

که در آن، $ET_o$: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، $R_n$: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، T: میانیگین دمای هوا (سانتی‌گراد)، $U_2$: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، $e_s$: فشار بخار اشباع در ارتفاع دو متری (مگاپاسکال)، $e_a$: کمبود فشار واقعی در ارتفاع دو متری (مگاپاسکال)، $e_s$-$e_a$: کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (مگاپاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد)، γ: ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد) و G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز) می‌باشد.

یکی دیگر از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب گیاهی منفرد ($K_c$) است که ترکیب تأثیر تعرق گیاه و تبخیر از خاک برای هر محصول است (راهنمای فائو[4]). مقدار ضریب گیاهی به‌طور معمول در طول فصل رشد متفاوت است، به‌گونه‌ای که مقدار آن از اوایل فصل رشد تا اواسط فصل رشد از حدود صفر به یک می‌رسد. این مقدار در مرحله رسیدگی گیاه شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه، تغییرات ضریب رشد گیاهی به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش بستگی دارد. سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی، با توجه به معیارهای یاد شده، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رشد را برای اکثر گیاهان زراعی ارائه داده است (Allen, 1998). ضریب گیاهی از تقسیم تبخیر و تعرق گیاه زراعی بر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل می شود. این مقدار ارتباط زیادی به خصوصیات فیزیولوژیک و مرحله رشدی گیاه دارد. اگرچه تبخیر و تعرق هر گیاه زراعی در هر منطقه تغییر می کند، امّا به‌دلیل لحاظ کردن خصوصیات اقلیمی هر منطقه در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی مستقل از مکان می‌باشد. بر همین اساس فائو ضرایب گیاهی و روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق (فائو-پنمن-مانتیث) را برای استفاده در تمامی مناطق کره زمین ارائه داده است.

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه زراعی در طول دوره رشد بر اساس تاریخ کاشت ارائه شده توسط گزارش‌های جهاد کشاورزی استان و تاریخ برداشت بر اساس درجه روز مورد نیاز هر محصول تا زمان رسیدگی ([5]GDD)، انجام می‌گردد (جدول ۲). با توجه به عدم اطلاعات کافی در مورد ارقام کشت شده گوجه‌فرنگی در بازه طولانی‌مدت در مناطق مورد مطالعه و عدم کشت و دسترسی به ارقام قدیمی، امکان مطالعه و اصلاح ضریب گیاهی آن ارقام وجود نداشت. از این‌رو، برای محاسبه نیاز آبی گیاهان زراعی همانند سایر محققین از ضریب گیاهی ارائه شده فائو استفاده شد (جدول ۳) (Yea et al., 2015; Bhojaraja et al., 2015). علاوه‌براین، برای مشخص کردن میزان دقیق نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی در هر منطقه، مقدار بارش مؤثر را از نیاز آبی گوجه‌فرنگی کسر می‌کنیم.

## آنالیز روند

### آزمون من‌کندال[6] (MK)

تجزیه و تحلیل روند نشان‌دهنده تغییرات پارامترها در طول زمان است که با استفاده از دو روش آماری آزمون پارامتری تی-استیودنت و آزمون غیرپارامتری من-کندال انجام می‌شود. اگر چه کاربرد هر دو آزمون در بسیاری از موارد نتایج مشابه به می‌دهد، امّا انوز و بایزت

1- Crop water requirement
2-Single crop coefficient
3- Reference evapotranspiration
4- FAO
5- Growing degree days
6- Mann-Kendall test

(Onoz & Bayazit, 2003) نشان دادند که آزمون غیرپارامتری من-کندال قدرت بیشتری در مقایسه با آزمون پارامتری تی-استیودنت در نشـــان دادن توزیع احتمال چولگی دارد. در نتیجه، در این تحقیق به‌منظور تشـــخیص هر گونه روند احتمالی در ســـری آماری متغیرهای اقلیمی، کارایی مصـــرف آب و نیاز آبی گیاه آزمون غیرپارامتری من کندال به‌کار برده شد.

**جدول ۲- تاریخ کاشت و برداشت گوجه‌فرنگی بر اساس کشت رایج در مناطق مورد مطالعه**

**Table 2- Date of planting and harvesting tomato based on the common planting in the studied areas**

| نام ایستگاه Station name | اهواز Ahvaz | بندرعباس Bandare Abbas | دزفول Dezful | فسا Fasa | اصفهان Isfahan | کرمان Kerman | شهرکرد Shahr-e Kord | شیراز Shiraz | یزد Yazd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تاریخ کاشت | نیمه اول تیر | نیمه دوم شهریور | نیمه دوم تیر | نیمه دوم اردیبهشت | نیمه اول خرداد | نیمه دوم اردیبهشت | نیمه دوم خرداد | نیمه دوم اردیبهشت | نیمه دوم اردیبهشت |
| Planting date | 22 June-6 July | 7 Sep – 2 Sep | 7 July – 22 July | 6 May – 21 May | 22 May – 5 June | 6 May – 21 May | 6 June – 21 June | 6 May – 21 May | 6 May – 21 May |
| تاریخ کاشت | نیمه دوم بهمن | نیمه اول بهمن | نیمه دوم آبان | نیمه اول مهر | نیمه دوم مهر | نیمه اول مهر | نیمه اول آبان | نیمه اول مهر | نیمه اول مهر |
| Harvesting date | 5 Feb – 19 Feb | 21 Jan – 4 Feb | 7 Nov – 21 Nov | 23 Sep – 7 Oct | 8 Oct – 22 Oct | 23 Sep – 7 Oct | 23 Oct – 6 Nov | 23 Sep – 7 Oct | 23 Sep – 7 Oct |

**جدول ۳- ضریب گیاهی منفرد ($K_c$) مراحل مختلف رشد گوجه‌فرنگی**

**Table 3- Single crop coefficients ($K_c$) of different growth stages of tomato.**

| ضریب گیاهی Crop coefficient | | | حداکثر ارتفاع بوته Maximum crop height (m) |
|---|---|---|---|
| مرحله اولیه رشد Crop coefficient for the initial stage | مرحله میانی رشد Crop coefficient for the mid-season stage | مرحله انتهایی رشد Crop coefficient for the end of the late season stage | |
| 0.60 | 1.15 | 0.70-0.90 | 0.6 |

فرض صـــفر ($H_0$) آزمون من-کنـدال (MK) (Kendall, 1975Mann, 1945; Gilbert, 2012;) بر تصـــادفی بودن و عدم وجود روند و فرض یک ($H_1$) مبنی بر وجود روند در ســری داده‌ها می باشد. در ابتدا برای استخراج آماره S، اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن xj مقدار داده j ام، n طول دوره آماری و sgn تابع علامت می‌باشد که به‌صورت معادله ۴ تعریف می‌گردد:

$$sgn(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۴)}$$

تحت فرضیه توزیع متغیرهای مستقل و تصادفی، وقتی $n \geq 8$، آمار S دارای توزیع نرمال با میانگین صفر بوده و واریانس آن به شرح زیر می‌باشد (معادله ۵):

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{معادله (۵)}$$

در نهایت، آماره آزمون من-کندال یا آمار Z استاندارد با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد:

$$Z = f(x) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & S < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۶)}$$

فرض صفر به شرط $-Z_{1-\theta/2} \leq Z \leq Z_{1-\theta/2}$ پذیرفته می شود و در غیر این صـــورت $H_0$ رد و فرض $H_1$ (وجود روند در ســـری داده‌ها) پذیرفته می‌شود.

### آزمون پتیت[۷] (P)

تســت پتیت، آزمونی ناپارامتری اســت که در ســال ۱۹۷۹ توســط پتیت برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی توسعه داده شد. این آزمون با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی

1- Pettitt test

دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت به شرح زیر است (Pettitt, 1979):

سری زمانی $U_{t,T}$ بر اساس معادله ۷ محاسبه شد.

معادله (۷)
$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^{T} \mathrm{sgn}(x_t - x_j) \text{ for } t = 1, \ldots, T$$

که در آن، T: تعداد داده‌ها و t: شماره ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن می‌باشد (Zhang et al., 2009). طول دوره آماری و T: تعداد داده در سری آماری است. تابع sgn(.) نیز به صورت معادله ۴ محاسبه شد. آماره p نیز با استفاده از جایگزنی مقدار k (معادله ۸) در معادله ۹ به‌دست آمد.

معادله (۸)
$$K_T = \max_{1 \le t < T} \left| U_{t,T} \right|$$

معادله (۹)
$$p \approx 2 \exp[-6(K_T)^2 / (T^3 + T^2)]$$

در این آزمون، فرض $H_0$، بیانگر همگنی داده‌ها و فرض $H_1$ نشان دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در صورتی که مقدار p محاسبه‌شده کوچک‌تر از α یا مقدار سطح احتمال معنی‌داری پنج درصد باشد، می‌توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی‌دار دانست. در واقع مقدار p مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض $H_0$ است که اگر این خطا از پنج در صد کمتر باشد، می توان این تغییر را معنی‌دار دانست. در آزمون پتیت با توجه به وجود همگنی می‌توان به سال شکست رسید. لازم به ذکر است محاسبه ETo و CWR به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزار Ref ET و CROPWAT 8 و تست من-کندال و پتیت با نرم‌افزار r انجام شد.

## نتایج و بحث

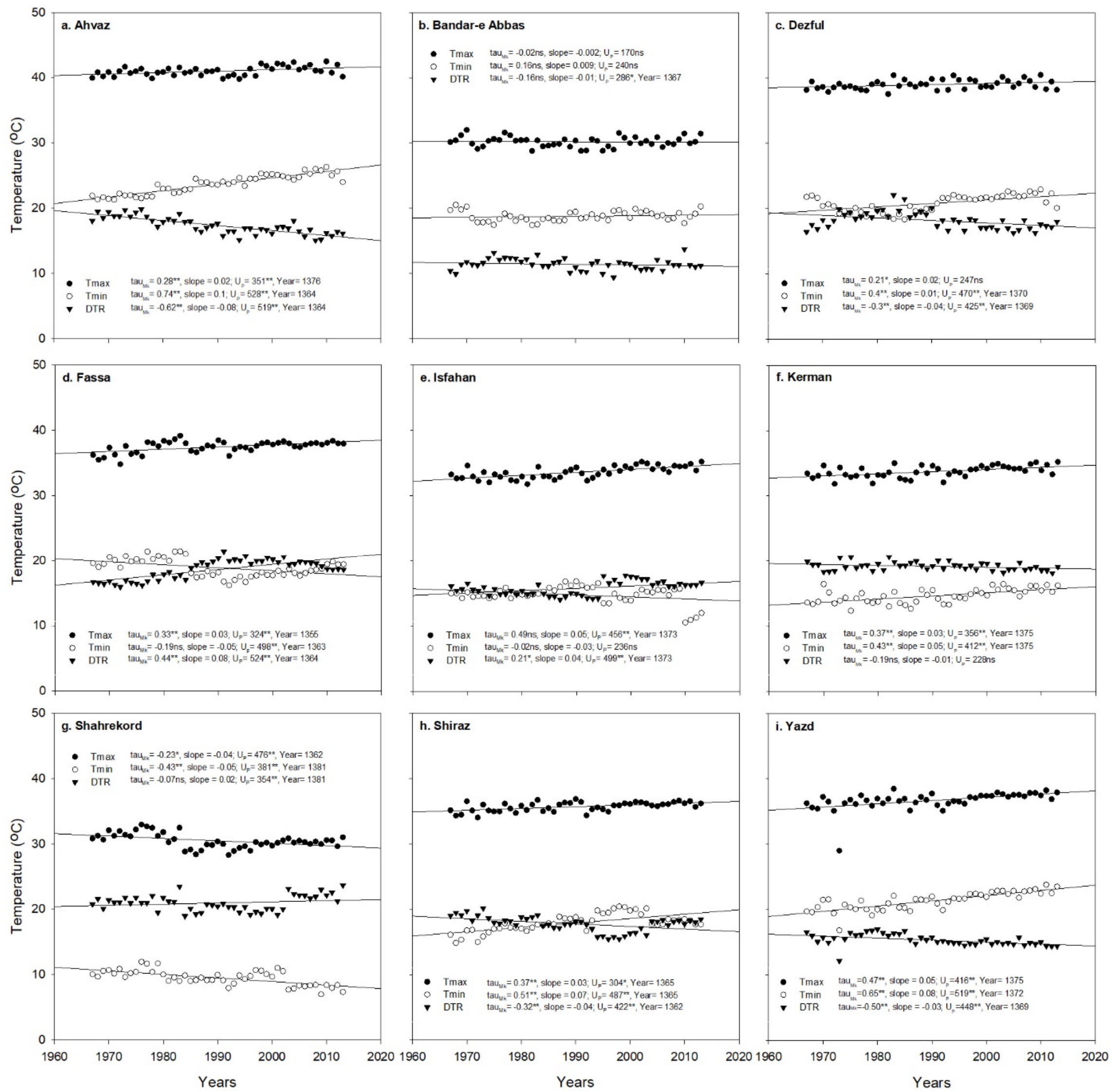
### آنالیز سری زمانی دما و بارش در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی

بررسی روند تغییرات حداکثر دمای مناطق جنوبی و جنوب غربی کشور در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی نشان داد که حداکثر دما در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز بندرعباس و شهرکرد دارای روند افزایشی معنی‌داری است (شکل ۱). یزد و اصفهان با شیب ۰/۰۵ درجه سانتی‌گراد در سال، بیشترین روند افزایشی حداکثر دما را داشتند (شکل e1 و i). به‌عبارتی، حداکثر دما در این دو شهر در حدود ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد در دوره بلندمدت (۴۷ ساله) افزایش یافته است. این در حالی است که اهواز و دزفول با بیشترین میانگین حداکثر دما در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی (به‌ترتیب ۴۱ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد) دارای شیب معادل ۰/۰۲ درجه سانتی‌گراد در سال بودند (شکل a1 و b). از سوی دیگر، بیشترین و تنها روند کاهشی معنی‌دار حداکثر دما در شهرکرد با شیب ۰/۰۴- درجه سانتی‌گراد در سال مشاهده شد (شکل g1). افزایش دما در طول دوره رشد گیاه زراعی از یک سو گیاه را برای برخی از فرآیندهای حیاتی از جمله فتوسنتز تحت تنش قرار می‌دهد (Lobell, 2007) و از سوی دیگر، با افزایش تقاضای آب از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه موجب کاهش رطوبت خاک (Ford & Quiring, 2014) و در نتیجه، افزایش نیاز آبیاری در طول دوره رشد گیاه به‌خصوص دوره‌های بحرانی رشد گیاه می‌شود (Asadi et al., 2018).

حداقل دما در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، کرمان، شیراز و یزد داری روند مثبت و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شکل ۱). علاوه‌براین، اهواز با بیشترین میانگین حداقل دما در حدود ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین شیب افزایشی در حدود ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال بود (شکل a1). همچنین حداقل دمای شهرکرد با شیبی در حدود ۰/۰۵- درجه سانتی گراد در سال، دارای روند منفی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شکل g1). که به‌طور کلی، حداقل درجه‌حرارت شهرکرد در دوره ۴۷ ساله در حدود ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. کاهش دمای حداقل علاوه‌بر کاهش میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه، احتمال خطر یخ‌زدگی را برای گوجه‌فرنگی افزایش می‌دهد که این موضوع می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاه در این منطقه داشته باشد (Tubiello et al., 2002).

اگرچه حداقل و حداکثر دما در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، شیراز و یزد روند افزایش معنی‌داری داشته است، امّا به‌دلیل شیب افزایشی بیشتر حداقل دما، دامنه دمای شبانه‌روزی در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی دارای روند منفی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد می‌باشند (شکل a1، c، h و i). کارال و همکاران (Karl et al., 1991) اظهار داشتند که روند متفاوت تغییرات حداکثر و حداقل دما حاکی از واکنش‌های متفاوت این دو پارامتر در طی زمان است. به‌نحوی که نرخ تغییرات حداقل دما به‌طرز محسوسی بیشتر از نرخ تغییرات حداکثر دما است. این امر موجب کاهش اختلاف دامنه دمای شبانه‌روزی می‌شود. مارنگو و کامارگو (Marengo & Camargo, 2008) نیز از بررسی سری‌های بلندمدت حداکثر و حداقل دمای

ایســتگاه‌های جنوب برزیل به این نتیجه رسـیدند که روند حداقل دما دارای شیبی افزایشی است، امّا روند حداکثر دما دارای شیب ملایم بوده است. نتایج همچنین حاکی از آن بود که روند دامنه دمای شبانه روزی فسا و اصفهان به‌دلیل عدم مشاهده روند افزایشی حداقل دما و مشــاهده روند افزایشــی مثبت معنی‌دار در حداکثر دما، دارای روندی مثبت و معنی‌دار اســت. به‌طور کلی، اختلاف بین دمای شــب و روز در این مناطق در حال افزایش است.



**شکل ۱– آنالیز روند میانگین دمای حداکثر و حداقل و دامنه دمای شبانه‌روزی (DTR) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مختلف کشور**

**Fig. 1- Trend analysis of average maximum temperature (Tmax) and minimum (Tmin) and diurnal temperature range (DTR) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) in the different regions of country**

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$ and no significant, respectively.

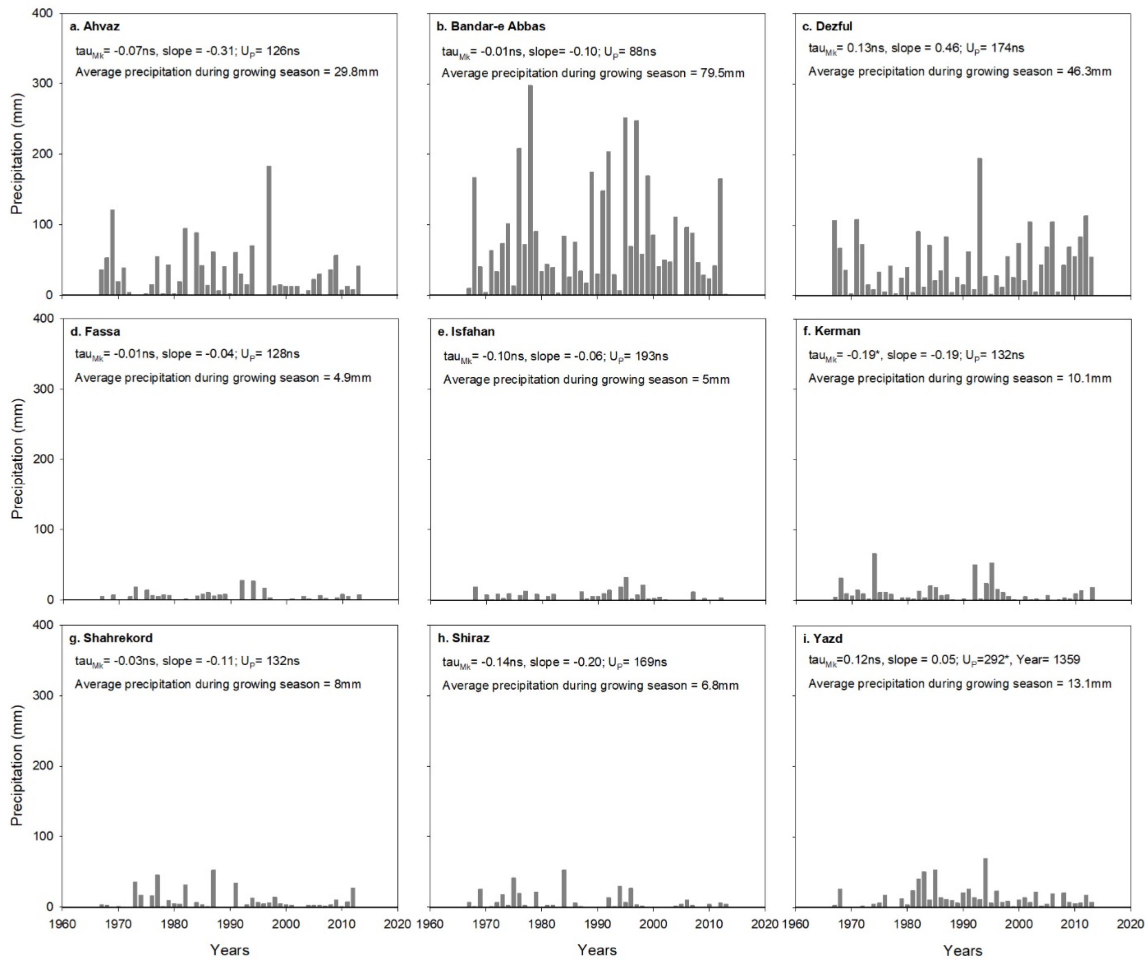
شـــهرکرد و فســـا به‌ترتیب بیشـــترین و کمترین دامنه دمای شـبانه‌روزی (به‌ترتیب ۲۱ و ۱۱/۴ درجه حرارت) را نسـبت به سـایر ایســتگاه‌های مورد مطالعه دارا بودند (شـــکل d1 و g). به‌طور کلی، تغییرات حداکثر و حداقل دما و دامنه دمای شبانه‌روزی بندرعباس در دوره بلندمدت ۴۷ ساله برخلاف سایر مناطق هم‌جوار، روند معنی‌داری نداشت.

نتایج حاصل از آزمون پتیت حاکی از وجود نقطه شکست در برخی سری‌های زمانی مورد بررسی می‌باشد. نقطه شکست به‌دست آمده در سری زمانی دامنه دمای شبانه‌روزی در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، فسا و شهرکرد تقریباً هم‌زمان با حداقل دما بود، که نشان می‌دهد با شروع نوسـان در دمای حداقل، دامنه دمای شـبانه‌روزی نیز دچار تغییر شـده ا ست ( شکل ‎a1‏، c، d و g). شمس و مو سوی بایگی (۱۳۹۵) نیز در مطالعه‌ای اظهار داشـتند که با تغییر در روند دمای حداقل، دامنه دمای شـبانه‌روزی نیز به‌طور واضـحی تغییر نموده اسـت، به‌نحوی که نقاط تغییر این دو ســـری د مایی با هم برابر می باشـــ ند ( Shams & Moosavi Baygi, 2016). نقطه شکست در سری زمانی دامنه دمای شبانه‌روزی در اصفهان هم‌زمان با شروع نوسانات حداکثر دما در سال ۱۳۷۳ و در فسا بود ( شکل ۱ e). لذا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دامنه‌ی شبانه‌روزی در این ایستگاه برخلاف سایر ایستگاه‌ها نا شی از افزایش ناگهانی حداکثر دما بود.

آنالیز سری زمانی مجموع بارش در طول دوره ر شد گوجه‌فرنگی ن شان داد که مجموع بارش در تمامی ای ستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز کرمان روند معنی‌داری نداشـت (شـکل ۲). اگر چه این روند معنی‌دار نبود، امّا مقدار مجموع بارش در طول دوره رشـد دوره ۴۷ سـاله برای تمام ایســتگاه‌ها به‌جز دزفول و یزد روندی کاهشـــی داشـــته اســت. برخلاف سایر مناطق، مجموع بارش کرمان با شیبی در حدود ۰/۱۹- میلی‌متر در سال دارای روندی منفی و معنی‌داری در سطح آماری پنج در صد بود ( شکل f2). علاوه‌براین، بندرعباس، دزفول و اهواز به‌ترتیب با مجموع بارشـــی معادل ۷۹/۵، ۴۶/۳ و ۲۹/۸ میلی‌متر به‌دلیل طول دوره ر شد متفاوت گوجه‌فرنگی در این مناطق دارای بی‌شترین مجموع بارش نســـبت به ســـایر مناطق بودند (شـــکل ۲). قهرمان و تقوایی (Ghahraman & Taghvaeian, 2008) نیز رونـد معنی‌داری در بارش ســالانه ایســتگاه‌های مرکز ایران مشــاهده نکردند. همچنین سماگوش و همکاران (Ghodoosi et al., 2013) بیان داشتند که در ۹۳ در صد از ۶۷ ایستگاه مورد مطالعه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵)، روند کاهشـی یا افزایشـی معنی‌داری در سـری زمانی بارش ف صلی م شاهده ن شد. نتایج آزمون پتیت نیز حاکی از عدم وجود نقطه شـکسـت در سـری‌های زمانی مجموع بارش در تمامی ایسـتگاه‌های به‌جز یزد بود.

## آنالیز سری زمانی نیاز آبی گوجه‌فرنگی

نتایج حاصل از آنالیز سری زمانی نیاز آبی حاکی از آن بود که نیاز آبی گوجه‌فرنگی در بندرعباس مشـــابه با ایســـتگاه‌های اهواز، فســـا، کرمان و یزد دارای روند معنی‌داری نبود ( شکل ۳). این در حالی ا ست که نیاز آبی گوجه‌فرنگی در دزفول، شیراز و ا صفهان دارای روند منفی و معنی‌داری بود. دزفول با شیبی در حدود ۵/۴۲- میلی‌متر در سال و ا صفهان با شیبی در حدود ۱/۵۶- میلی‌متر در سال به‌ترتیب بیشترین و کمترین، روند کاهشی را دارا بودند. از آن‌جا که نیاز آبی گیاه از ضرب تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با اسـتفاده از روش پنمن- مانتیث در ضـریب گیاهی به‌دسـت آمده اسـت، روند نیاز آبی گوجه‌فرنگی تقریباً مشـابه روند تبخیر و تعرق در طول دوره رشـد گیاه اسـت نه دما. که روند تبخیر و تعرق نیز تابعی از تغییرات هم‌زمان پارامترهای مختلف اقلیمی از جمله رطوبت و تعداد سـاعات آفتابی و دما و ... اسـت. در شـرایط تغییر اقلیم، روند کاهشـی تبخیر و تعرق در مناطق مختلفی از جهان مشـاهده شـد ( Huo et al., 2013; Irmak et al., 2012; McVicar et al., 2012; Yang et al., 2013). برخلاف سـایر مناطق، نیاز آبی گوجه‌فرنگی در شهرکرد با شیبی در حدود ۳/۳۷ میلی متر در سال دارای روند مثبت و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شـکل g3). بیشـترین میانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی به‌ترتیب در یزد و دزفول ( به‌ترتیب ۱۱۳۵ و ۱۱۳۱ میلی‌متر) و کمترین م یانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی به‌ترتیب در شـــهرکرد و اهواز (به‌ترتیب ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی‌متر) م شاهده شد ( شکل a۴ و b). علاوه‌براین، نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نیز در بندرعباس، اهواز، فسا و کرمان و یزد برخلاف سایر مناطق مورد مطالعه، دارای روند معنی‌داری نبود. همچنین، نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی دزفول، ا صفهان و شیراز به‌ترتیب با شیبی معادل ۵/۸-، ۱/۵- و ۳/۲- میلی‌متر در سال، دارای روند منفی معنی‌داری بودند.




**شکل ۲- آنالیز روند بارش تجمعی در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مختلف کشور**

**Fig. 2- Trend analysis of average precipitation during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) in the different regions of country**

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$ and no significant, respectively.

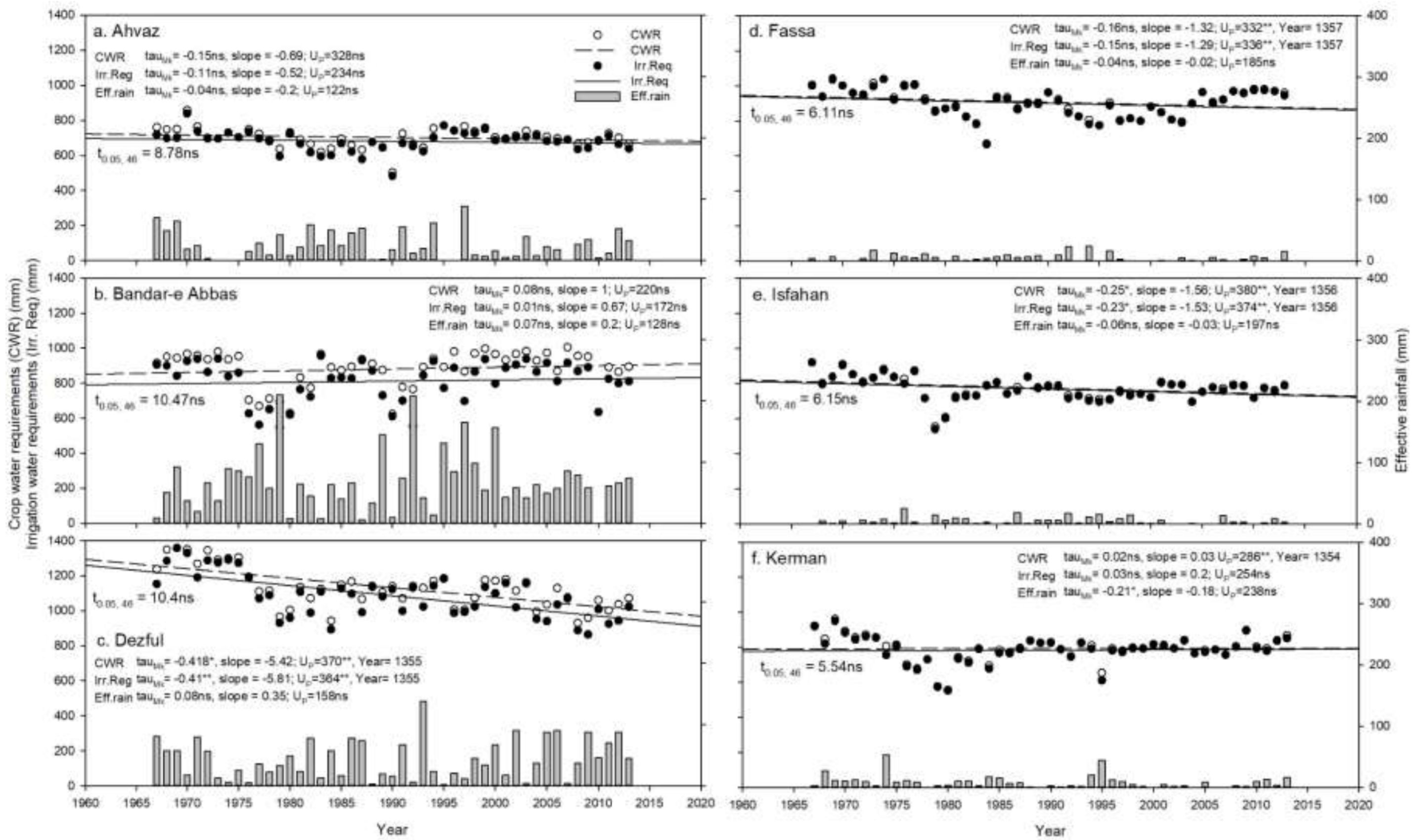
در حالی‌که نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی شهرکرد روندی مثبت و معنی دار در سطح آماری یک در صد با شیب ۳/۴۷ میلی‌متر در سال دارد (شکل g۳). بیشترین و کمترین میانگین نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نیز به‌ترتیب به یزد و دزفول (به‌ترتیب ۱۱۲۳ و ۱۰۸۶ میلی‌متر) و شهرکرد و اهواز (به‌ترتیب ۵۹۳ و ۶۸۱ میلی‌متر) اختصاص یافت (شکل a۴ و b). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2009) نیز در مطالعه‌ای دریافتند که تبخیر و تعرق و به طبع آن نیاز آبی گیاه زراعی در ۵۰ تا ۶۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۴۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ میلادی)، روندی افزایشی و یا هیچ روند معنی‌داری نداشتند. آن‌ها این تغییر روند را به کوتاه بودن دوره مطالعاتی در مقایسه با سری زمانی های طولانی‌تر (۶۰ سال) نسبت دادند. که می‌توانند تأییدی بر اهمیت طول دوره در آنالیزهای سری زمانی باشد.

نتایج آزمون تی-استیودنت برای مقایسه نیاز آبی و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نشان داد که، میزان نیاز آبی برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با میزان نیاز آبیاری نداشت (شکل ۳). عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو متغیر به‌دلیل میانگین بارش مؤثر پایین در مناطق بود (شکل ۴). مجموع بارش مؤثر در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز کرمان روند

معنی‌داری نداشـــت. اگرچه روند مجموع بارش مؤثر معنی‌دار نبود، امّا مقدار مجموع بارش مؤثر در طول دوره رشد ۴۷ ساله برای بندرعباس (۰/۲ میلی‌متر در ســـال) و دزفول (۰/۳۵ میلی‌متر در ســـال) روندی افزایشی بود (شکل ۳). علاوه‌براین، بیشترین مقدار بارش مؤثر که در بندرعباس به‌دلیل طول دوره رشد متفاوت گوجه‌فرنگی رخ داده است، تنها ۷/۷ در صد نیاز آبی گوجه‌فرنگی را تأمین می‌کند (شکل ۴). پس از بندرعباس، دزفول و اهواز به‌ترتیب ۳/۸ و ۳/۵ درصـــد نیاز آبی گوجه‌فرنگی را از طریق بارش مؤثر تأمین می‌کنند. به‌عبارتی، تمامی آب مورد نیاز گوجه‌فرنگی در این مناطق باید از طریق آبیاری تأمین شود.

از سـوی دیگر، بالا بودن نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی در دزفول و یزد را می‌توان به افزایش میزان تبخیر از ســـطح خاک و تعرق از سطح گیاه به‌دلیل بیشتر بودن میانگین حداکثر (به‌ترتیب ۳۹ و ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد) و حداقل (به‌ترتیب ۲۰/۸ و ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد) دما و همچنین تعداد ساعات آفتابی این دو منطقه در طول دوره رشد در مقایســه با سـایر مناطق اسـت. اگرچه در سـطح جهانی، رطوبت و تعداد ساعات آفتابی از حساس‌ترین متغیرهای تبخیر و تعرق است، امّا با توجه به نتایج این مطالعه و سایر مطالعات (Gong et al., 2006; Estevez et al., 2009) می‌توان اظهار داشـــت که تبخیر و تعرق علاوه‌بر حساسیت به رطوبت و تعداد ساعات آفتابی، به حداقل دما نیز حساس است. لی و همکاران (Liu et al., 2010) نیز بیان داشتند که افزایش دما تأثیر معنی‌داری بر افزایش تبخیر و تعرق دارد. کوچکی و همکاران (Koochaki et al., 2018) نیز در مطالعه‌ای نیاز آبی گوجه‌فرنگی برای اسـتان خراسـان رضـوی را در حدود ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر برآورد کردند. آن‌ها همچین دریافتند که مناطقی با عملکرد پایین گوجه‌فرنگی در مقابل تغییرات دما حساسیت بیشتری داشته‌اند، به‌طوری‌که با افزایش سـه درجه سـانتی‌گراد میانگین دما، عملکرد گوجه‌فرنگی ۲۰ در صد کاهش یافت. به‌عبارتی، با افزایش دما به تبع تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین میزان تنش خشکی افزایش یافته و در نتیجه، کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی نیز کاهش یافت. علاوه‌بر دما و ســاعات آفتابی، عدم بارش مناســب و افزایش ســرعت باد در شــرایط خشــک و نیمه‌خشــک نیر منجر به افزایش تبخیر و تعرق و درنتیجه، نیاز آبی گیاه زراعی می‌شـود (Alijani, 2002). تبخیر و تعرق در نواحی سـاحلی بیشـتر به تعداد سـاعات آفتابی (Ye et al., 2014) و در صد رطوبت (Wang et al., 2007) و در فصول گرم به دمای هوا و تعداد ساعات آفتابی و در فصل‌های سردتر به سرعت باد حساس‌تر است (Estevez et al., 2009). به‌طورکلی، تبخیر و تعرق پاســخ‌های متفاوتی به متغیرهای آب‌وهوایی در مناطق مختلف و شرایط آب‌وهوایی داشت.

اختلاف کم نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی در اهواز با اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب، با شـــهرکرد با اقلیم معتدل ســـرد و تابســـتان‌های گرم خشـک به‌دلیل فصـل رشـد متفاوت گوجه‌فرنگی در این دو ایسـتگاه است (جدول ۲، شکل a۴ و b). به‌عبارتی، کشت گوجه‌فرنگی در تیر و برداشت آن در بهمن شرایطی مشابه با کشت تابستانه گوجه‌فرنگی در شهرکرد را داشت. پس از اهواز، بندرعباس با طول دوره رشد و فصل رشد مشابه اهواز، پایین‌ترین نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص داد. حداکثر دمای مشابه (۳۰ درجه سانتی‌گراد) این مناطق و حداقل دمای پایین‌تر اهواز نسبت به بندرعباس و میزان بارش مؤثر بیشـــتر بندرعباس نســـبت به شـــهرکرد در طول دوره رشـــد منجر به اختلاف کم تبخیر از سـطح خاک و تعرق از سـطح گیاه شـده اسـت. به‌طور کلی، می‌توان اظهار داشـــت که کشـــت پاییزه گوجه‌فرنگی در اهواز و بندرعباس به‌دلیل کاهش تبخیر و تعرق صـــرفه اقتصـــادی بیشتری نسبت به کشت تابستانه دارد. علاوه‌براین، دو شهر مرکزی اصفهان و کرمان با فصل رشد مشابه به‌دلیل حداکثر و حداقل دمای پایین‌تر نسبت به دزفول، فسا، شیراز و یزد، میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از ســـطح گیاهی و در نتیجه، نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی کمتری داشـــته‌اند (جدول ۲، شـــکل ۲ و ۴). فن و همکاران (Fan et al., 2016) نیز اظهار داشـــتند که روند تبخیر و تعرق در چین در طی ۶۰ سال گذشته به‌طور قابل توجه‌ای تغییر کرده است، تغییرات شامل روندی کاهشـــی با شـــیب کم و روند افزایشـــی معنی‌دار اســـت. روند افزایشی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به همراه بارندگی محدود در فصل بهار و زمستان رخ داده است که منجر به افزایش نیاز آبی گیاه شـــد. در حالی که در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب با کاهش تبخیر و تعرق، نیازآبی و آبیاری گیاه زراعی کاهش یافت که می‌تواند به حفظ منابع آب کمک کند. بنابراین، با آنالیز ســـری زمانی تبخیر و تعرق و متغیرهای آب‌وهوایی و حساسیت‌های گیاه به دمای حداقل و حداکثر به‌منظور سبز شدن و رشد می‌توان در مورد کشت گیاه در منطقه‌ای خاص تصـــمیم‌گیری کرد، به‌گونه‌ای که بتوان بیشـــترین عملکرد را با حفظ بیشتر منابع آب منطقه به‌دست آورد.

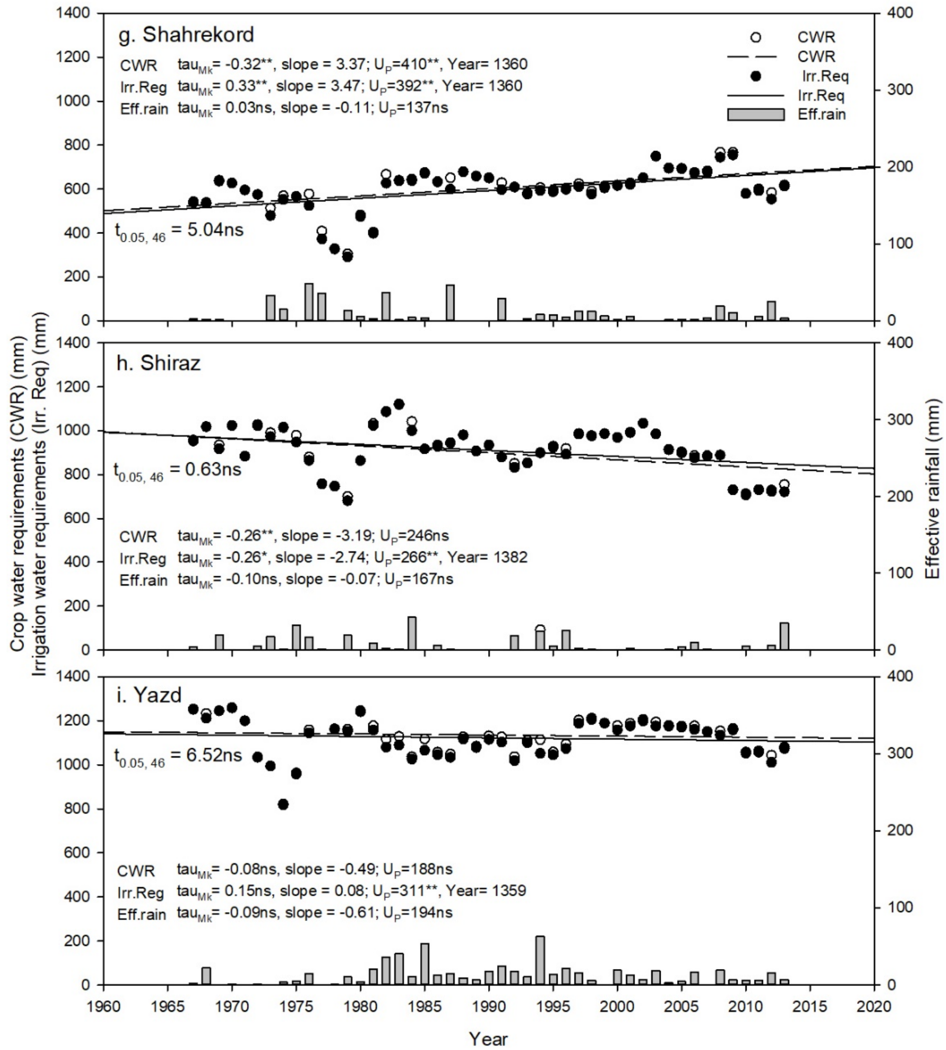



**شکل ۳– آنالیز روند نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش مؤثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مورد مطالعه**

**Fig. 3- Trend analysis of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) tests in the studied areas**

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at p≤ 0.01 and p≤0.05 and no significant, respectively.




**ادامه شکل ۳- آنالیز روند نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش مؤثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مورد مطالعه**

**Fig. 3- Trend analysis of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and Continue effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) tests in the studied areas**

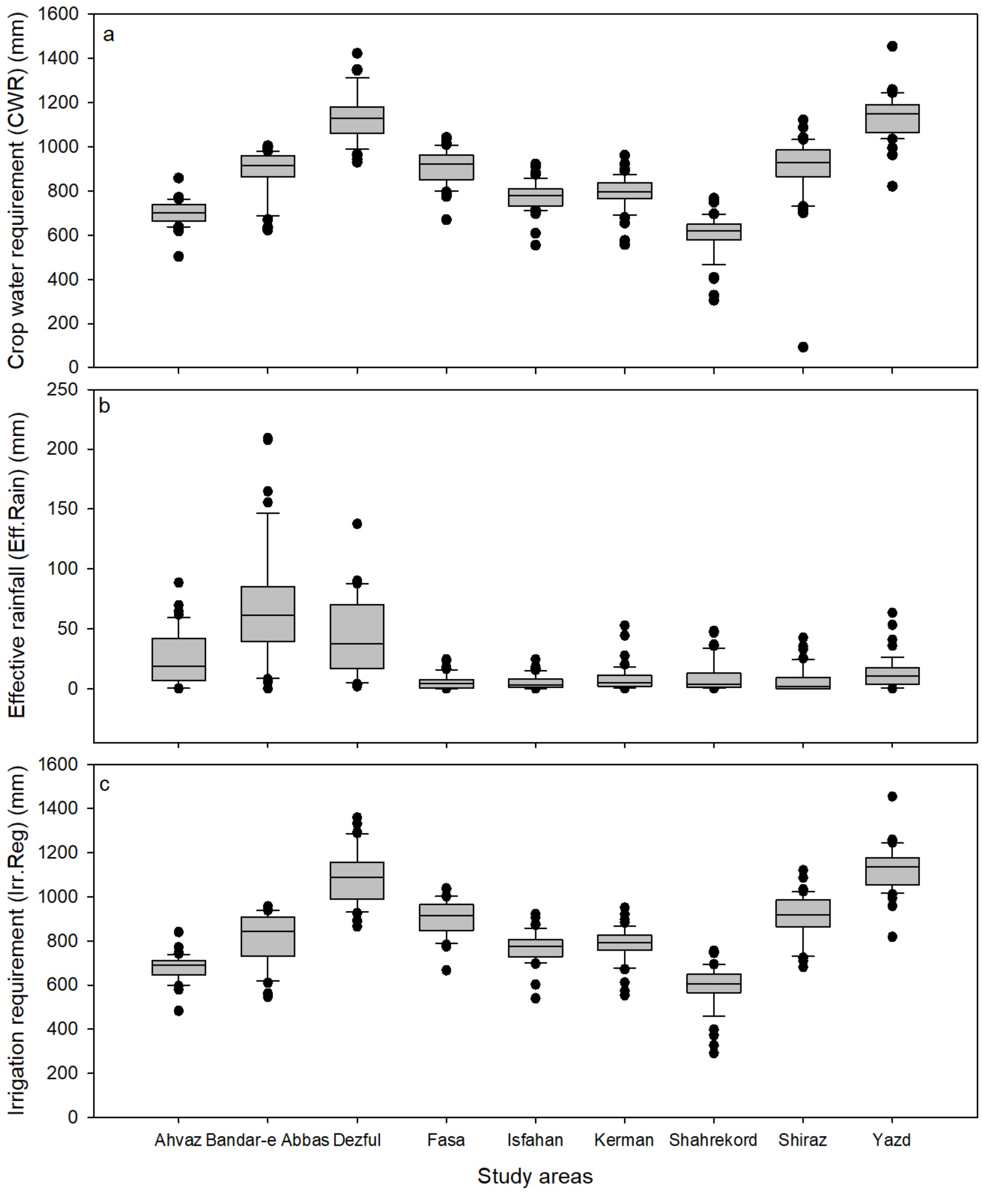
**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$ and no significant, respectively.

علاوه‌براین، با توجه به تغییرات مداوم آب‌وهوایی و اهمیت امنیت غذایی ایران با شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک، پذیرش و صرف هزینه برای راهکارهای منا سب به‌منظور تطبیق سی ستم‌های ک شت محصولات زراعی به شرایط آب‌وهوایی گرم‌تر و خشک‌تر و سیستم های آبیاری جدید امری ضروری و مهم است.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه آنالیز سری زمانی مجموع بارش، میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارات در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی و نیاز آبی گوجه‌فرنگی در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله برای بندرعباس و ه شت ایستگاه منتخب هم‌جوار آن با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال و آزمون پتیت انجام شد.




**شکل ٤– نمودار جعبه‌ای نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش مؤثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی در مناطق مورد مطالعه**

**Fig. 4- Box plot of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes in the studied areas**

در این میان یزد و دزفول با میانگین نیاز آبی در حدود ۱۱۳۰ میلی متر و شهرکرد و اهواز با میانگین نیاز آبی در حدود ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی متر به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی بودند. بندرعباس نیز بعد از اهواز با میانگین نیاز آبی در ۸۸۱ میلی‌متر جزء مناطقی است که نیاز آبی پایین‌تری نسبت به سایر استان‌های هم‌جوار خود به‌دلیل تاریخ کاشت متفاوت گوجه‌فرنگی دارد. اگرچه استان هرمزگان با اقلیم خشک و همچنین تلفات آب در بخش کشاورزی دچار بحران جدی در طی دو دهه اخیر شده است، امّا کشت

گوجه‌فرنگی در نه شهرستان استان هرمزگان در خارج از فصل موجب کاهش نیاز آبی گیاه از یک سو و کاهش میزان آبیاری از سوی دیگر شده است. به‌گونه‌ای که با نیاز آبی ۸۸۱ میلی‌متر، مقام سوم را بعد از شهرکرد و اهواز از نظر نیاز آبی پایین گوجه‌فرنگی به خود اختصاص داده است. در واقع، در شرایطی که بتوان میزان آب مصرفی گوجه فرنگی را در این منطقه بدون صدمه به منابع طبیعی و به خطر انداختن محیط زیست تأمین کرد، طبیعتاً کشت این گیاه در استان نسبت به دزفول، یزد و اصفهان به صرفه‌تر است. از سوی دیگر، می توان علاوه‌بر راهکار بسیار مناسب تغییر فصل کاشت گوجه‌فرنگی در این استان، با راهکارهای دیگری ازجمله مدیریت آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب در صورت عدم تغییر شرایط آب‌وهوایی در این اقلیم، همچنان به کشت گوجه‌فرنگی در این اقلیم مبادرت ورزید. علاوه‌براین با توجه به عملکرد و کیفیت بالای گوجه‌فرنگی خارج فصل در این استان، استفاده از این راهکار برای استان‌های که فصل پاییز و زمستان دارای بارش مناسب و حداقل دمای مناسب گوجه‌فرنگی هستند، می‌تواند با کاهش نیاز آبی و همچنین نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی به حفظ منابع آبی و تولید این گیاه کمک کند. به‌طور کلی، برای مدیریت آب مصرفی بخش کشاورزی در آینده باید تغییرات تبخیر و تعرق را به‌دلیل تغییرات آب‌وهوایی مداوم و همچنین تأثیر کلیدی آن بر افزایش تقاضای آب گیاه زراعی، مورد توجه خاص قرار داد.

## سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه هرمزگان و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۹۶/۶۹۷۶ مورخ ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ تأمین شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

## References

Alijani, B., 2002. Variation of 500 hPa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. Theoretical and Applied Climatology 72: 41–54.

Alizadeh, A., 2015. Principles of Applied Hydrology. 41st Edition. Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. p. 942. (In Persian)

Alizadeh, A., and Kamali, G.A., 2007. Crops Water Requirements. Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. 807 p. (In Persian)

Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M.R., Bannayan Aval, M., and Farid Hossaini, A., 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. Journal of Water and Soil 24: 815–835. (In Persian with English Summary)

Allen, R.G., 2003. Crop Coefficients. B.A. Stewart and T.A. Howell (Eds.), Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker Publishers, New York. p. 87-90.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97): e156.

Asadi, S., Bannayan, M., and Monti, A., 2018. The association of crop production and precipitation: A comparison of two methodologies. Arid Land Research and Management 33(1): 1–22.

Asakereh, H., 2011. Fundamentals of Statistical Climatology. Zanjan University publishing, Zanjan, Iran. 550 p. (In Persian)

Bhojaraja, B.E., Hegde, G., Pruthviraj, U., Shetty, A., and Nagaraj, M.K., 2015. Mapping age wise discrimination of arecanut crop water requirement using hyperspectral remote sensing. Aquatic Procedia 4: 1437–1444.

Entz, M.H., and Fowler, D.B., 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. Crop Science 30: 1119-1123.

Estévez, J., Gavilán, P., and Berengena, J., 2009. Sensitivity analysis of a Penman-Monteith type equation to estimate reference evapotranspiration in southern Spain. Hydrol. Process 23: 3342–3353.

Ford, T.W., and Quiring, S.M., 2014. *In situ* soil moisture coupled with extreme temperatures: A study based on the Oklahoma Mesonet. Geophysical Research Letters 41: 4727–4734.

Ghahraman, B., and Taghvaeian, S., 2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 93–97.

Ghodoosi, M., Morid, S., and Delavar, M., 2103. Comparison of detrending methods for the temperature and

precipitations time series. Journal of Agricultural Meteorology 1(2): 32–45.

Gilbert, N., 2012. Water under pressure. Nature 483: 256–257.

Gong, L., Xu, C., Chen, D., Halldin, S., and Chen, Y.D., 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. Journal of Hydrology 329: 620–629.

Huo, Z., Dai, X., Feng, S., Kang, S., and Huang, G., 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. Journal of Hydrology 492: 24–34.

Irmak, S., Kabenge, I., Skaggs, K.E., and Mutiibwa, D., 2012. Trend and magnitude of changes in climate variables and reference evapotranspiration over 116-yr period in the Platte River Basin, central Nebraska–USA. Journal of Hydrology 420: 228–244.

Karl, T.R., Kukla, G., Razuvayev, V.N., Changery, M.J., Quayle, R.G., Heim, Jr. R.R., David, R., Easterling, D.R., and Fu, C.B., 1991. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change. Geophysical Research Letters 18: 2253–2256.

Kendall, M.G., 1962. Rank Correlation Methods. Hafner Publishing Company: New York.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Asadi, S., and Zareh, H., 2018. Evaluation of spatial crop water use efficiency in Khorasan Razavi province. Journal of Agroecology. In Press (In Persian with English Summery)

Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H., and Zhao, H.L. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheatand maize in a semi-arid region of North China. Agricultural Water Management 61: 1-12.

Liu, C., Zhang, D., Liu, X., and Zhao, C., 2012. Spatial and temporal change in the potential evapotranspiration sensitivity to meteorological factors in China (1960-2007). Journal of Geographical Sciences 22(1): 3–14.

Lobell, D.B., 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. Agricultural and Forest Meteorology 145: 229–238.

Mavi, H.S., and Tupper, G.J., 2004. Agrometeorology: Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture. CRC Press. 447 p.

Mann, H.B., 1945. Non parametric tests again trend. Econometrica 13: 245–259.

Marengo, J.A., and Camargo, C.C., 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. International Journal of Climatology 28: 893–904.

McVicar, T.R., Roderick, M.L., Donohue, R.J., Li, L.T., Van Niel, T.G., Thomas, A., Grieser, J., Jhajharia, D., Himri, Y., Mahowald, N.M., Mescherskaya, A.V., Kurger, A.C., Rehman, S., and Dinpashoh, Y., 2012. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: implications for evaporation. Journal of Hydrology 416: 182–205.

Onoz, B., and Bayazit, M., 2003. The power of statistical tests for trend detection. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 27: 247–251.

Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics 28(2): 126–135.

Shams, S.H., and Mosavi Baygi, S.M., 2016. Investigation of breakpoint and trend of daily air temperature range for Mashhad, Iran. Journal of Water and Soil 30(5): 1673–1685. (In Persian with English Summary)

Tubiello, F., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Jagtap, S., and Jones, J., 2002. Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus. Climate Research 20: 259–270.

Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., and Fraedrich, K., 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. Theoretical and Applied Climatology 90: 13–23.

Yang, J., Qin, L., Mei, X., Yan, C., Hui, J.U., and Xu, J., 2013. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration and its sensitivity coefficients to climate factors in Huang-Huai-Hai Plain, China. Journal of Integrative Agriculture 12(2): 2280–2291.

Ye, X., Li, X., Liu, J., Xu, C.Y., and Zhang, Q., 2014. Variation of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in the Poyang Lake catchment, China. Hydrological Processes 28(25): 6151–6162.

Yea, Q., Yang, X., Dai, S., Chen, G., Lie, Y., and Zhang, C., 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, croppingsystems and crop water requirements in southern China. Agricultural Water Management 159: 35–44.

Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., and Cai, H., 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. Global and Planetary Change 69: 35-47.

Zhang, X., Ren, Y., Yin, Z.Y., Lin, Z., and Zheng, D., 2009. Spatial and temporal variation patterns of reference

evapotranspiration across the Qinghai-Tibetan Plateau during 1971-2004. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 114: D15105.

Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Xiang, Y., and Zheng, J., 2016. Climate change effects on reference crop evapotranspiration across different climatic zones of China during 1956–2015. Journal of Hydrology 542: 923–937.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 685-702

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۷۰۲-۶۸۵

# Comparison of water Requirement of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fields of Hormozgan Province with other Southern Regions of Iran Using Time Series Analysis

**F. Abdollahi[1*], L. Jafari[1] and S. Asadi[2]**
Submitted: 12-09-2018
Accepted: 03-02-2019

Abdollahi, F., Jafari, L., and Asadi, S., 2021. Comparison of water requirement of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fields of Hormozgan province with other southern regions of Iran using time series analysis. Journal of Agroecology 12(4):685-702.

## Introduction

Determining the precise water use efficiency is a critical issue in crop production temperature, precipitation, and evapotranspiration play an essential role in the hydrological cycle and crop production and as well as in assessing hydro climatological studies, plants water balance, water use efficiency, and water requirements measurements (Alizadeh, 2015). The purpose of this study was to evaluate the water requirement of tomato (Solanum lycopersicum L.) plants in Hormozgan province and compare it with other southern regions that are adjacent to this province, including Ahvaz, Dezful, Fasa, Isfahan, Kerman, Shiraz, and Yazd, in a 47-year long period from 1967 to 2013, using time series analysis.

## Material and Methods

In order to compare the water requirement of tomatoes in Hormozgan Province and other southern regions adjacent to the province, crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of Tomato was estimated in Bandar Abbas, Ahvaz, Dezful, Fasa, Isfahan, Shahrekord, Kerman, Shiraz, and Yazd. The CWR was acquired by estimating two components: reference evapotranspiration (ETo) and crop coefficient (Kc). ETo was calculated via the Penman-Monteith method (Allen, 2003). Time series analysis of total precipitation, average maximum temperature (Tmax) and minimum (Tmin) and diurnal temperature range (DTR) during the growing season of Tomato was calculated by using the non-parametric Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975) in the studied areas during a 47-year long period from 1346 to 1392. The Pettitt test's presence of change-point in the series was also studied (Pettitt, 1979). It should be noted that ETo and CWR were calculated using the Ref ET and CROPWAT 8 software and the Man-Kendall and Petti test with r software.

## Results and Discussion

The results showed no significant trend observed in crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of Tomato in Bandar Abbas, similar to Ahvaz, Fasa, Kerman, and Yazd. In comparison, the highest and lowest decreasing trend of crop water requirement was recorded in Dezful (with slope -5.42 mm) and Isfahan (with slope -1.56 mm), respectively. Also, the highest average tomato water requirement was observed in Yazd and Dezful (1135 and 1131 mm, respectively), while the lowest average tomato water requirement was observed in Shahrekord and Ahvaz (602 and 702 mm, respectively). On the other hand, high water requirement and irrigation of tomatoes in Dezful and Yazd can be attributed to an increase in the evaporation rate from the soil surface and transpiration from the plant surface due to the higher mean of the maximum (39 and 36.7 °C, respectively) and the

---

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran.
2- Ph.D. at Agro-ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(* Corresponding author email: fabdollahi@hormozgan.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i4.77267

minimum temperature (20.8 and 21.3 °C, respectively) and the sunshine hours of these two areas during the growing season compared with other areas. Bandar Abbas has the lowest water requirement and irrigation requirement of Tomato with the length of a growing season and growing season, similar to Ahwaz. In general, it can be stated that planting fall tomatoes in Ahwaz and Bandar Abbas is more cost-effective than summer planting due to reduced evapotranspiration. The t-student test results for comparing water requirement with irrigation requirement of Tomato showed that there was no significant difference between the amount of water requirement of tomatoes for all stations compared to the amount of irrigation requirement of Tomato due to the average low rainfall in these areas.

## Conclusion

By analyzing the time series of evapotranspiration and climate variables and plant sensitivities to the minimum and maximum temperature for germination and growing, it is possible to decide about crop planting in a particular region, so the highest crop yield was achieved by maintaining more water resources in the region. In addition, due to climate change and the importance of Iran's food security in a warm and dry climate, acceptance and spending on appropriate strategies to adapt crop planting systems to warmer and more humid climates and new irrigation systems are essential.

## Acknowledgment

Funding for this research was supported by Hormozgan University (Research Grant 96/6976).

**Keywords:** Effective rainfall, Mann-Kendall test, Penman-Monteith method